

作業支援システムにおける作業者の動作解析と 作業指示マーカ表示の影響について

西本 圭志* 平間 毅*

1. はじめに

中小企業の製造現場において、異物除去や傷検査などの工程は製品の品質を保つ上で必要不可欠な工程である。現状、多くの現場では搬送ラインを流れる製品の中に含まれた異物等を作業者が目視で確認し、手作業や機材（吸引機など）で除去している。

単純作業を長時間行うことによる集中力の低下、日々の体調・疲労度による注意力のバラツキ、作業への習熟度などにより見逃しが発生することがある。

作業者の見逃しを減少させるため、作業者へ作業対象物の位置を提示する作業支援システムの開発が求められている。

2. 目的

前年度までに研究開発した既存システム¹⁾は、異物除去後も作業指示（指示マーカ）が消灯しない仕様であるため、作業者の注意が引き続き指示マーカに引き付けられ、作業時間が増加している可能性があった。

本研究では、作業者の対象物除去動作を検出し、指示マーカを消灯させることにより、作業時間短縮に資するか、検証を行った。

3. 研究内容

既存システムへ、指の動きと位置、指と除去対象物（対象物）の位置関係から対象物除去動作の有無を判定し、指示マーカ消灯を実行する処理を研究開発し、実装を行い、作業効率（対象物除去作業完了までの時間）の差異の発生を比較検証した。

3.1 ハードウェア構成

本研究で開発したシステムの概要例を図 1 に示す。

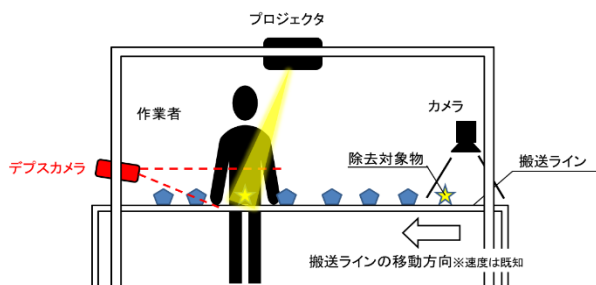


図 1 システム概要例

搬送ラインの下流にデプスカメラを配置し、作業者が対象物除去動作を行ったか検出するため、作業者の指の動きと位置を計測した。

3.2 システムについて

開発したシステムは大きく 2 つの要素があり、作業者の指先動作の検出と、対象物と指先の位置関係の判

定にて構成される。尚、対象物の 3 次元位置は、昨年度までの研究にて既知となっている。²⁾

3.2.1 作業者の指の位置と動作の 3 次元検出

作業者の指の検出にはデプスカメラと MediaPipe³⁾を用いた。デプスカメラで撮影した 2 次元 RGB 画像を MediaPipe で解析（図 2）し、指先の位置に相当する深度情報を取得することで作業者の指の 3 次元位置検出を可能とした。

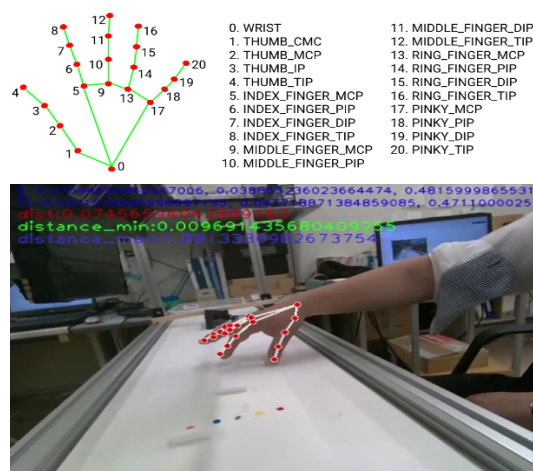


図 2 MediaPipe による手の検出例

3.2.2 対象物除去動作の検出

作業者の対象物除去動作実施を判定する要素としては、以下の 2 つの要素がある。

- ・ 摘み上げ動作の判定
- ・ 指と対象物の位置関係の判定

これら 2 つの要素が成立した場合、対象物除去動作が実行されたと判断する。

3.2.2.1 摘み上げ動作の判定

作業者が摘み込む動作を行ったかどうかを検出した。本研究では親指と人差し指に着目し、指先間の距離を 3 次元測定した。親指と人差し指の指先間の距離が一定距離以下となった場合、摘み上げ動作と判定した。

3.2.2.2 指と除去対象物の位置関係の判定

作業者が摘み上げ動作を行った際、親指と一指し指の指先間の中間位置を算出した。中間位置から対象物の中心位置までの距離が一定距離以下の場合、対象物を摘み上げ、除去したと判定した。一定距離以下とした理由は、親指と人差し指が実際に対象物を挟んでいる位置は、デプスカメラから見て指の肉厚分奥にあるためである。デプスカメラで計測した指先の深度情報（Z 座標情報）は、各指の表面までの距離を計測したものである。（図 3）

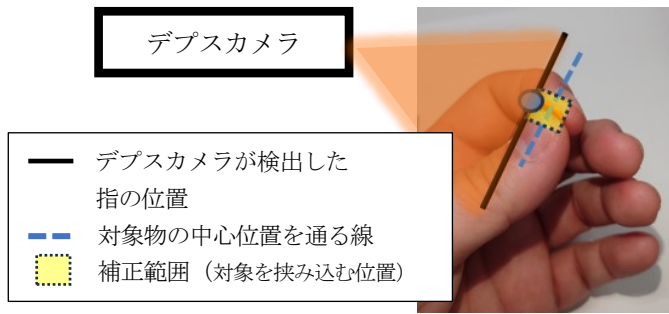


図 3 計測位置と対象物中心位置と補正範囲の関係

4. 検証方法

4.1 検証条件

検証用に、対象物として色の異なる円形チップを使用した。色は赤、青、緑、黄色、黒の 5 色で、直径は市販の円形シールと同じ 8.0mm、厚さ 1.0mm。各色 20 枚（合計 100 枚）（図 4）を用いた。

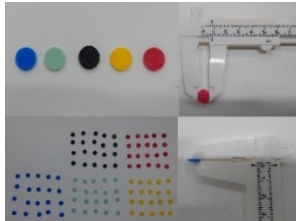


図 4 実験用対象物（円形チップ）

その他の条件を下記に示す。

- ・青チップを除去対象物とした
- ・被験者は 20 代から 60 代の 5 名とした
- ・搬送ラインを止めた状態で検証
- ・「3.2.2.1 摘まみ上げ動作の判定」で述べた親指と人差し指の間隔は 8.0mm と設定（事前に被験者に円形チップを摘まむ動作を 10 回実施させ、親指と人差し指の間隔を測定。最大 7.8mm であったため 8.0mm を設定）
- ・「3.2.2.2 指と除去対象物の位置関係の判定」で述べた、親指と人差し指の中間点と対象物の補正範囲を 6.0mm と設定した。（事前に被験者に円形チップを摘まむ動作を 10 回実施させ、親指と人差し指の中間点と対象物の中心点間距離を測定。最大 5.9mm であったため 8.0mm を設定）

4.2 検証方法

検証は、

- ・青以外の色のチップは全て混合し使用する（80 枚）
- ・青チップは、8 枚、10 枚、11 枚、15 枚、18 枚、20 枚の 5 パターンで、他色チップと混合し使用
- ・混合した円形チップを横 300.0mm、縦 200.0mm の領域へ散布
- ・被験者へ事前に混合した青チップの枚数は知らせない
- ・青チップを全部取り除くまでの時間を計測

以上の状況下で検証を実施した。その際、指示マーカによる①指示なし、②指示あり（対象物除去しても指

示マーカは消えない）、③指示あり（対象物除去で対応する指示マーカ消灯）の 3 パターンで検証を実施した。（図 5）

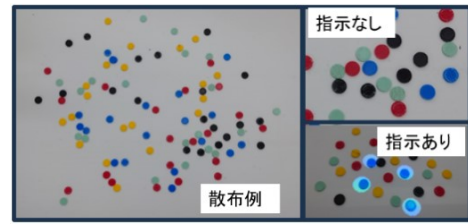


図 5 検証実施状況例

5. 検証結果と考察

検証方法に従い、青色チップを完全除去するまでの時間を測定した結果を表 1 に示す。

表 1 検証結果

チップ個数		8	10	11	15	18	20
指示なし		10.33	16	22.38	25.45	26.01	37.87
指示あり	消えない	9.46	13.06	15.71	21.76	24.38	30.63
	消える	9.03	11.85	14.92	20.83	22.78	25.31

検証結果より、作業完了までに要する時間は「指示あり（消える）」「指示あり（消えない）」「指示なし」の順に、作業時間が増加する傾向となった。

同じ「指示あり」であっても、対象物除去で指示マーカが消灯する方が、消灯しない場合よりも 0.43 秒から 5.32 秒程度の作業時間が短縮される結果となった。

この結果は、対象物の除去後も指示マーカが残存することで、被験者の注意が対象物のない場所へ向けられるため、作業時間が増加している可能性が高い事を示唆している。

6. まとめ

今回の提案システムを使用することで、対象物除去後も残存するマーカ位置に作業者の注意が向けられてしまう影響を低減し、作業時間を短縮できる可能性があると考えられる。

なお、本研究は令和 2 年度から令和 6 年度まで文部科学省特別電源所在県科学技術振興事業「少量データによる AI 構築技術及び AI の実応用に関する研究」の一環として実施しているものである。

7. 参考文献等

- 1) 前島 崇宏、西本 圭志、由木 美晴、平間 毅、青木 邦知、少量データによる AI 構築技術及び AI の実応用に関する研究、茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告、49、7-10、2020
- 2) 西本 圭志：可動式透過型ディスプレイを用いた搬送ライン向け作業支援システムの開発、情報処理学会第 85 回全国大会、5E-04、第 85 回全国大会講演論文集、2023(1)、7-8（2023-02-16）
- 3) MediaPipe、<https://github.com/google/mediapipe>